



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОГРУЖНОГО ПНЕВМОУДАРНИКА
ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Е. М. Черниенков, А. Ю. Примычкин, Л. Ю. Белозерцева

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: e.chernienkov@misd.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Представлена конструкция отечественного погружного пневмоударника для бурения скважин в горных породах средней и высокой крепости. С помощью метода математического моделирования доказана возможность его работы на давлении энергоносителя 2.4 МПа. Приведены результаты испытаний опытных образцов пневмоударника в лабораторных условиях и на промышленных объектах горнодобывающей отрасли.

Бурение, ударно-вращательное бурение, погружной пневмоударник, высокое давление энергоносителя, математическое моделирование рабочего цикла пневмоударника, рабочий цикл пневмоударника, энергетические характеристики

**DETERMINATION OF ENERGY PARAMETERS
OF HIGH PRESSURE DOWN-THE-HOLE HAMMER BY SIMULATION METHOD**

E. M. Chernienkov, A. Yu. Primyckin, and L. Yu. Belozerceva

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: e.chernienkov@misd.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 63009,1 Russia*

The design of a domestically produced DTH hammer for drilling holes in rocks of medium and high strength is presented. Using mathematical modeling method, the possibility of hammer operation at an energy carrier pressure of 2.4 MPa is proved. The results of DTH hammer prototypes testing in laboratory conditions and at mining facilities are presented.

Drilling, rotary percussion drilling, DTH hammer, high pressure of energy carrier, mathematical modeling of hammer working cycle, hammer working cycle, energy characteristics

При разведке и освоении месторождений полезных ископаемых осуществляют проходку скважин в горных породах с различными физико-механическими свойствами, в том числе крепких и весьма крепких. К технологиям проходки предъявляют следующие требования: высокая производительность бурения, низкая стоимость погонного метра скважины, стойкость бурового оборудования. Скважины должны быть прямолинейны и иметь высокое качество стенок [1].

В настоящее время для проходки скважин, соответствующих указанным требованиям, широкое распространение получили буровые комплексы и установки, реализующие ударно-вращательный способ разрушения горных пород с помощью погружных и выносных ударных устройств, использующих в качестве рабочего агента пневматическую или гидравлическую среды [0].

При проходке глубоких скважин целесообразно применение ударно-вращательного бурения с погружными пневмоударниками. Расположение источника ударных импульсов непосредственно на забое дает возможность не только эффективно разрушать породы высокой и средней крепости ($\sigma_{сж} = 30-200$ МПа), но и бурить скважины с максимальной прямолинейностью. В таком случае энергоноситель также является очистным агентом, выносящим буровую мелочь от забоя.

Одно из направлений развития данного способа бурения — увеличение давления энергоносителя [3]. Современные компрессорные установки, применяемые в буровых комплексах, выдают давление до 3.2 МПа. Погружные пневмоударники для работы на таком давлении сжатого воздуха представлены на рынке только зарубежными производителями, в частности Швеции, США, Китая и др. Подобное буровое оборудование отечественными производителями на сегодняшний день не выпускается, что приводит к полной зависимости от импорта продукции и представляет угрозу энергетической и сырьевой независимости нашей страны [4].

Для решения этой проблемы в Институте горного дела СО РАН разработана конструкция погружной пневматической ударной машины для бурения скважин диаметром 130 мм (рис. 1), соответствующая высоким требованиям, предъявляемым к такого вида технике [5].

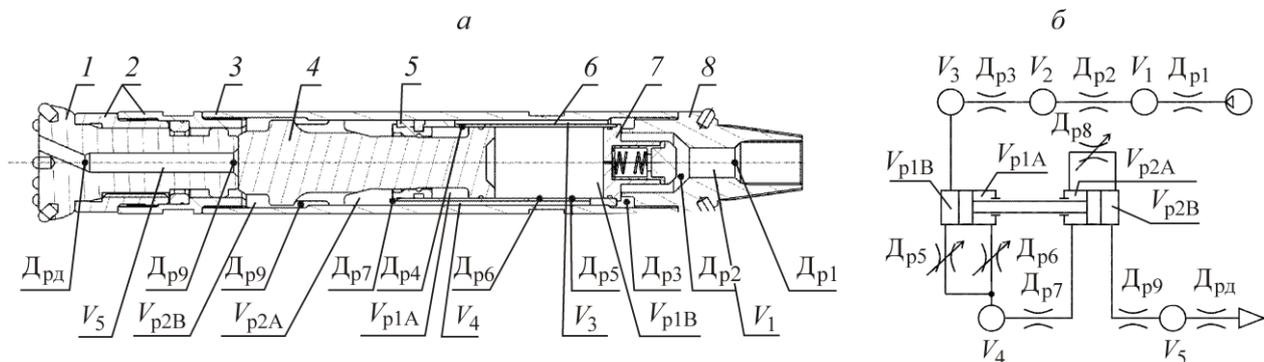


Рис. 1. Погружной пневмоударник: *a* — конструктивная схема пневмоударника (1 — коронка; 2 — букса-адаптер; 3 — корпус; 4 — ударник; 5 — разрезное кольцо; 6 — гильза; 7 — обратный клапан; 8 — переходник); *б* — расчетная модель пневмоударника ($D_{p1} - D_{p9}$, $D_{pд}$ — дроссели; $V_1 - V_5$, V_{p1A} , V_{p2A} , V_{p1B} , V_{p2B} — объемы камер)

Разработанная конструкция пневмоударника имеет ряд преимуществ. Беззолотниковая система воздухораспределения позволяет использовать широкий диапазон рабочего давления сжатого воздуха от 0.3 до 3.2 МПа. Отсутствие дополнительных воздухораспределительных устройств допускает энергоносителю воздействовать на максимальные рабочие площади ударника для его разгона, повышая тем самым энергию удара при неизменном калибре машины. Наличие обратного клапана предохраняет машину от зашламовывания при бурении по обводненным породам. Отсутствие радиальных перфораций и возможность выполнения корпуса машины разной толщины в зависимости от твердости и абразивности буримых пород обеспечивает ее высокий ресурс (и, как следствие, уменьшает стоимость 1 п.м скважины). Выхлоп отработанного воздуха на забой способствует очищению призабойной зоны от буровой мелочи и препятствует ее переизмельчению. Кроме того, такое расположение выхлопных окон дает возможность использовать пенные реагенты для обеспечения необходимой скорости восходящего потока в затрубном пространстве при бурении скважин увеличенного диаметра.

Исследование рабочего цикла пневмоударника в диапазоне магистрального давления 0.6–2.4 МПа, а также доводка конструкции машины осуществлялась посредством моделирования с помощью компонентно-ориентированной компьютерной модели на основе графов.

Построена расчетная модель погружного пневмоударника П130 (рис. 1б). В нее заложены основные параметры машины: объемы рабочих камер, проходные сечения каналов, моменты открытия и закрытия каналов, масса и площади ударника со стороны камер прямого и обратного хода. Использование такой модели пневмоударника позволяет изменять какой-либо конструктивный параметр воздухораспределительной системы и контролировать выходные энергетические характеристики машины: энергию и частоту ударов, ударную мощность, предударную скорость, удельный расход сжатого воздуха и т. д.

Применимость данного подхода описана в [6, 7]. Этот метод позволяет проводить ряд экспериментов без изготовления натурального образца машины. В результате компьютерного моделирования получены расчетные диаграммы давления воздуха в рабочих камерах машины в течение рабочего цикла при давлении сжатого воздуха в питающей магистрали 0.6, 1.2 и 2.4 МПа (рис. 2а, б, в). Видно, что с повышением сетевого давления стабильность работы машины не нарушается, рабочий цикл четкий и полный, энергия единичного удара и частота растут. Для достижения требуемых энергетических и расходных характеристик обеспечения устойчивой работы машины в конструкцию пневмоударника были внесены необходимые коррективы.

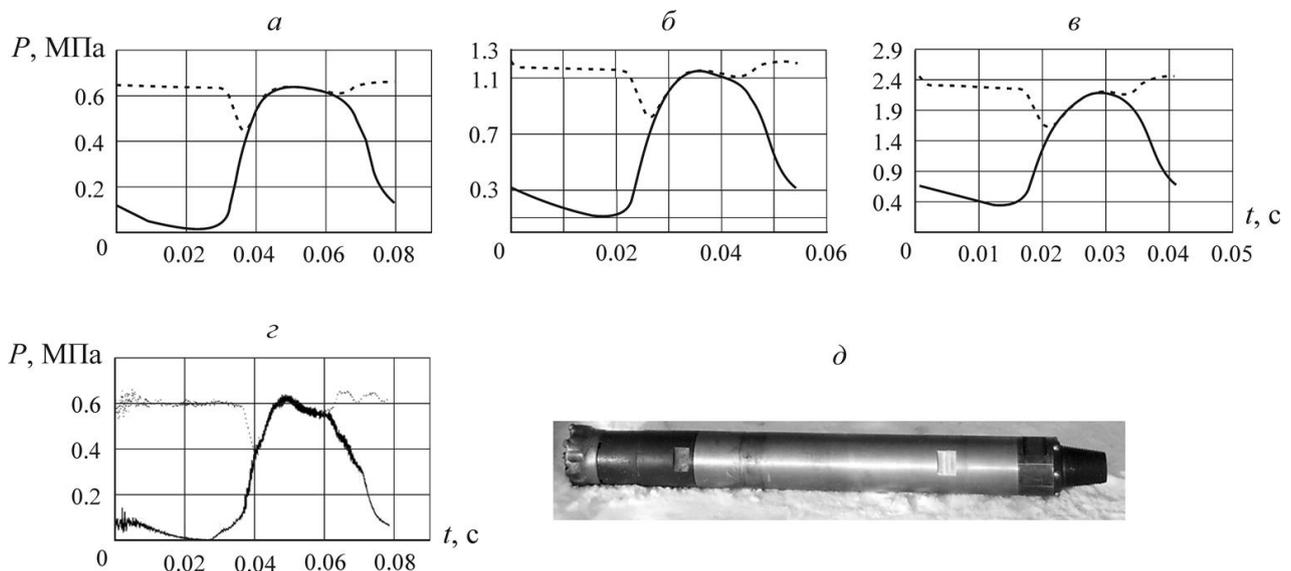


Рис. 2. Результаты теоретического и экспериментального исследования погружного пневмоударника: а, б, в — расчетные диаграммы давления воздуха в рабочих камерах машины при давлении сжатого воздуха в магистрали 0.6; 1.2 и 2.4 МПа соответственно; z — экспериментальная диаграмма давления воздуха в рабочих камерах машины при давлении сжатого воздуха в магистрали 0.6 МПа, д — общий вид экспериментального образца погружного пневмоударника

После доработок конструкции пневмоударника, основанных на результатах имитационного моделирования, был изготовлен и испытан в лабораторных условиях экспериментальный образец машины (рис. 2д). При помощи программы и методики, изложенной в [8], обработаны диаграммы (рис. 2z) давлений воздуха в камерах холостого и рабочего хода на стандартном давлении энергоносителя 0.6 МПа. Сравнение расчетной и реальной диаграмм (рис. 2а, z) давления воздуха в рабочих камерах при одинаковом магистральном давлении показывает, что отклонения их характеристик по таким параметрам как энергия единичного удара, частота, расход энергоносителя различаются не более чем на 7%. Это свидетельствует о том, что модель достаточно точно и полно описывает работу реальной машины. В таблице приведены значения энергетических параметров погружного пневмоударника при различном давлении сжатого воздуха.

Энергетические параметры погружного пневмоударника

Параметр	Значение		
Диаметр буримой скважины, мм	134, 152		
Диаметр корпуса, мм	120		
Длина без коронки, мм	1110		
Масса без коронки, кг	65		
Масса ударника, кг	16		
Давление, МПа	2.4	1.2	0.6
Энергия единичного удара, Дж	830	474	220
Частота ударов, с ⁻¹	23	18	13
Ударная мощность, кВт	19	8.5	2.8
Расход воздуха (при 2.0 МПа), м ³ /мин	31.5	15.6	7.5

Промышленные испытания погружного пневмоударника П 130 проведены с участием ООО «Горнотехническая компания «Сибирь» на карьере Борок г. Новосибирска. Осуществлялось бурение сетки взрывных скважин по гранитам с прочностью на одноосное сжатие 120–140 МПа на буровом станке Atlas Copco Rock L8 (Швеция) при рабочем давлении энергоносителя 2.1 МПа. По результатам испытаний средняя скорость бурения составила 0.6–0.8 м/мин, что сопоставимо с аналогичными параметрами пневмоударников ведущих мировых производителей (Atlas Copco, Numa).

ВЫВОДЫ

Предложена конструкция погружного пневмоударника для бурения скважин в горных породах средней и высокой крепости, преимуществами которой являются широкий диапазон рабочего давления сжатого воздуха (0.6–2.4 МПа), наличие обратного клапана, предохраняющего машину от зашламовывания при бурении по обводненным породам, отсутствие перфораций в стенках корпуса, обеспечение выхлопа сжатого воздуха на забой скважины. С помощью метода имитационного моделирования доказана работоспособность конструкции погружного пневмоударника на повышенном и высоком давлении. Определены энергетические характеристики погружной машины при различных давлениях энергоносителя. Промышленные испытания показали высокую производительность (скорость) бурения, сопоставимую с производительностью пневмоударников европейского и американского производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Eremenko V. A., Barnov N. G., Kondratenko A. S., and Timonin V. V. Method for developing steeply falling low-power vein deposits, Mining Journal, 2016, no. 12, pp. 45–50. [Еременко В. А., Барнов Н. Г., Кондратенко А. С., Тимонин В. В. Способ разработки крутопадающих маломощных жильных месторождений // Горный журнал. — 2016. — № 12. — С. 45–50.]
2. Oparin V. N., Timonin V. V., Karpov V. N., and Smolyanitsky V. N. Energy-based volumetric rock destruction criterion in the rotary-percussion drilling technology improvement, Journal of Mining Science, 2017, vol. 53, no.6, pp. 1043–1064. [Опарин В. Н., Тимонин В. В., Карпов В. Н., Смоляницкий В. Н. О применении энергетического критерия объемного разрушения горных пород при совершенствовании технологии ударно-вращательного бурения скважин // ФТПРПИ. — 2017. — № 6. — С. 81–104.]

3. **Timonin V. V., Alekseev S. E., Karpov V. N., and Chernienkov E. M.** Influence of the energy parameters of a submersible air hammer on the technical and economic indicators of drilling wells with simultaneous casing, *Journal of Mining Science*, 2018, no. 1, pp. 61–71. [**Тимонин В. В., Алексеев С. Е., Карпов В. Н., Черниенков Е. М.** Влияние энергетических параметров погружного пневмоударника на технико-экономические показатели бурения скважин с одновременной обсадкой // *ФТПРПИ*. — 2018. — № 1 — С. 61–71.]
4. **List** of priority and critical products from the point of view of import substitution and national security. Ministry of industry and trade of the Russian Federation from 09.02.2015. [**Перечень** видов продукции приоритетных и критических с точки зрения импортозамещения и национальной безопасности. Министерство промышленности и торговли РФ от 09.02.2015.]
5. **Pat.** 2090730 RF. Submersible pneumatic impact mechanism, S. E. Alekseev, *Byull. Izobret.*, 1997, no. 26. [**Пат.** 2090730 РФ. Погружной пневматический ударный механизм / С. Е. Алексеев // *Опубл. в БИ*. — 1997. — № 26.]
6. **Primychkin A. YU., Kondratenko A. S., and Timonin V. V.** Determination of parameters of the air distribution system with an elastic valve for a submerged air hammer, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2016, vol. 2, no. 3, pp. 141–145. [**Примычкин А. Ю., Кондратенко А. С., Тимонин В. В.** Определение параметров системы воздухораспределения с упругим клапаном для погружного пневмоударника // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. — 2016. — № 3. — Т. 2. — С. 141–145.]
7. **Primychkin A. Yu. and Belozerceva L. Yu.** Influence of elastic valve parameters on energy characteristics of a ring pneumatic impact machine, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2019, no. 3, vol. 6, pp. 116–121. [**Примычкин А. Ю., Белозерцева Л. Ю.** Влияние параметров упругого клапана на энергетические характеристики кольцевой пневмоударной машины // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. — 2019. — № 3. — Т. 6. — С. 116–121.]
8. **Timonin V. V., Chernienkov E. M., and Timko T. V.** Automated analysis of operating cycles of impact machines, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2019, pp. 012074.